

BAB II

KAJIAN PUSTAKAN DAN DASAR TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Fahriansyah (2015) melakukan penelitian tentang *sling pump* jenis kerucut dengan variasi jumlah inlet, 1 inlet, 2 inlet, 3 inlet, dan 4 inlet pada presentase pencelupan 50%, 60%, 70%, dan 80% dan memakai 4 lilitan selang plastik berdiameter $\frac{3}{4}$ ". Berdasarkan penelitian ini didapatkan debit air paling optimal pada persentase pencelupan *sling pump* 80% di dalam air dengan jumlah 2 inlet yaitu sebesar 10,39 liter/menit.

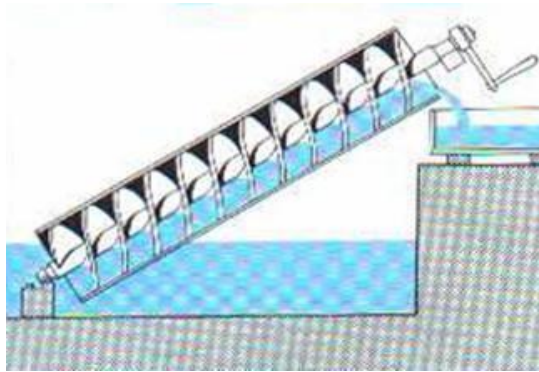
Akram (2016) pernah meneliti tentang *sling pump* jenis kerucut dengan variasi diameter corong inlet 5, 6, dan 7cm. Berdasarkan penelitian tersebut menggunakan *water mur* diperoleh debit air paling optimal pada pencelupan 80% di dalam air dengan 16 lilitan selang plastik yaitu sebesar 3,43 liter/menit dengan ketinggian delivery 2 m.

Hary Prasetyo (2016) pernah meneliti tentang *sling pump* jenis kerucut menggunakan *water swivel joint* dengan variasi jumlah 10 lilitan, 12 lilitan, 14 lilitan, dan 16 lilitan selang plastik berdiameter $\frac{3}{4}$ " dengan presentase pencelupan 80%. Berdasarkan penelitian tersebut diperoleh debit air paling optimal adalah pada persentase pencelupan 80% di dalam air dengan 16 lilitan selang plastik yaitu sebesar 7,53 liter/menit.

Pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan *water mur*, debit yang di hasilkan kurang optimal. Hal ini disebabkan karena adanya kebocoran yang terjadi pada *water mur*. Dari penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan penggantian *water mur* dengan *water swivel joint* supaya tidak ada kebocoran lagi.

2.2. Dasar Teori

Archimedes memperkenalkan konsep *sling pump* pada kisaran tahun 287-212 SM. Alat ini digunakan untuk memindahkan air dari danau keseluruh irigasi pertanian Syracuse di Sicily.



Gambar 2.1. *Archimedean Screw pumps* (Oliver, 2013)

Ujung engkol diputar sehingga air akan naik dari elevasi rendah ke tempat elevasi yang lebih tinggi. Alat in kemudian dikenal dengan sebutan “*Archimedean Screw pumps*”.

2.2.1. *Sling Pump*

Munurut prinsip kerja *Arhimedean screw pump*, diperlukan beberapa modifikasi untuk memperoleh suatu pompa yang bersifat *non* konvensional namun tidak memerlukan energi listrik. Modifikasi ini terfokus pada penggantian ulir pipa pompa dengan lilitan selang yang dililitkan ke rangka pompa dan penggantian poros engkol pompa dengan sebuah *propeller*. Pompa ini memerlukan energi aliran air untuk memutar *propellernya*. Oleh karena itu, hasil modifikasi pompa ini hanya dapat diaplikasikan pada air yang mengalir sepanjang waktu seperti sungai.

Sling pump memiliki beberapa kelebihan yaitu konstruksi *sling pump* sederhana, mudah perawatan, jumlah komponen sedikit, biaya murah, pengoperasiannya aman dan mampu beroperasi terus menerus selagi ada aliran sungai. Sedangkan kekurangan *sling pump* yaitu debit yang dihasilkan relatif kecil, debit yang dihasilkan tergantung oleh kecepatan arus sungai, dan relatif digunakan untuk head yang rendah.

2.2.2. *Water Swivel Joint*

Penggunaan *Water Swivel Joint* merupakan komponen penting dalam industry pengeboran. *Swivel* terletak pada bagian paling atas dari rangkaian pipa bor Alat ini mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a. Memberikan kebebasan rangkaian pipa bor untuk berputar.
- b. Memberikan perpaduan gerak vertikal dengan gerak berputar dapat bekerja bersama-sama.
- c. Untuk meneruskan aliran lumpur dari alat yang tidak bergerak ke peralatan yang bergerak pada rangkaian pengeboran.



Gambar 2.2. *Water Swivel Joint*

Penggunaan *Water Swivel Joint* pada Penelitian *Sling Pump* terletak diantara kerangka *Sling* dengan *Pipa Delivery*. Komponen tersebut berfungsi perpaduan gerak vertikal dengan gerak berputar dapat bekerja bersama-sama untuk meneruskan air menuju penampung.

2.2.3. Mekanika Fluida

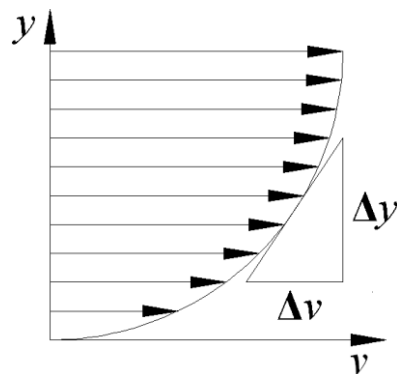
Mekanika fluida adalah telaah fluida yang bergerak atau diam dan akibat yang ditimbulkan oleh fluida tersebut pada batasnya. Sedangkan fluida adalah suatu zat yang mengalami perubahan bentuk secara *continue* apabila terkena tegangan geser (*shear stress*) betapapun kecilnya. Menurut Giles (1977) fluida adalah zat-zat yang mampu mengalir dan yang menyesuaikan diri dengan bentuk wadah tempatnya. Fluida dapat digolongkan ke dalam cairan dan gas. Perbedaan-perbedaan utama antara cairan dan gas adalah (a) cairan praktis tak kompresibel, sedangkan gas *kompresibel* dan seringkali harus diperlakukan demikian dan (b) cairan mengisi volume tertentu dan mempunyai permukaan-permukaan bebas sedangkan gas dengan massa tertentu mengembang sampai mengisi seluruh bagian wadah tempatnya.

2.2.4. Kekentalan (*viscosity*) Fluida

Kekentalan adalah sifat dari fluida untuk melawan tegangan geser pada waktu bergerak/mengalir. Kekentalan disebabkan oleh kohesi antara partikel fluida (Robert, 2003). Tahanan suatu fluida terhadap tegangan geser tergantung pada kohesinya dan pada laju perpindahan momentum molekulnya. Cairan, dengan molekul-molekul yang jauh lebih rapat daripada gas, mempunyai gaya-gaya kohesi yang jauh lebih besar daripada gas. Kohesi merupakan penyebab utama *viskositas* dalam cairan dan karena kohesi berkurang dengan naiknya suhu, maka demikian pulalah *viskositas* (Streeter, 1985).

2.2.4.1. Viskositas Dinamik

Menurut Newton, tegangan geser dalam suatu fluida sebanding dengan laju perubahan kecepatan normal aliran. Laju kecepatan sering disebut dengan gradien kecepatan.



Gambar 2.3. Profil kecepatan dan gradien kecepatan (Streeter, 1985)

Dari Gambar 2.3. gradien kecepatan pada setiap harga yang melalui sumbu y didefinisikan sebagai: (Olson, 1990)

$$\frac{dv}{dy} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta v}{\Delta y} \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

Tegangan geser fluida yang timbul diformulasikan sebagai (Olson, 1993).

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan,

- τ : Tegangan geser fluida (Pa)
- μ : Viskositas fluida (kg/m.s)
- dv/dy : Gradien kecepatan (s^{-1})

Persamaan 2.2 adalah persamaan viskositas yang berlaku untuk fluida *Newtonian*. Maka, persamaan 2.2 pada fluida *non Newtonian* akan menjadi (Streeter, 1985):

$$\mu = \frac{\tau}{dv/dy} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\mu = \frac{F/A}{dv/dy} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan faktor μ (viskositas dinamik) kesebandingan yang dikenal sebagai koefesien viskositas dinamik. Pada satuan SI, tegangan geser diekspresikan dalam N/m^2 (Pa) dan gradien kecepatan dalam $(m/s)/m$, karena itu satuan SI untuk viskositas dinamik adalah (Olson, 1990).

$$\mu = \frac{N/m^2}{(m/s)/m} = \frac{N.s}{m^2} = \frac{Kg}{m.s} \dots\dots\dots(2.5)$$

2.2.4.2. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik (ν) adalah perbandingan (ratio) antara *viskositas dinamik* (μ) dengan massa jenisnya (ρ). Seperti yang terlihat pada persamaan berikut (Streeter, 1985).

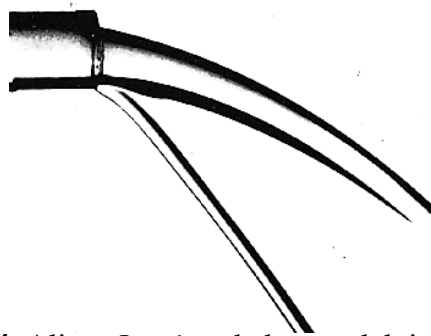
$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dalam satuan ν untuk SI adalah luas persatuan waktu (m^2/s).

Viskositas kinematik muncul dalam banyak penerapan, misalnya dalam bilangan *Reynolds* yang tanpa dimensi untuk gerakan suatu benda melalui fluida, Vl/ν , dimana V adalah kecepatan benda dan l ialah suatu ukuran linear yang mewakili ukuran benda tersebut. Dimensi ν adalah L^2T^{-1} . Satuan SI, untuk *viskositas kinematik* adalah $1 m^2/s$, dan satuan USC-nya ialah $1 ft^2/s$. satuan cgs-nya yang dinamakan *stoke* (St) adalah $1 cm^2/s$. (Streeter, 1985)

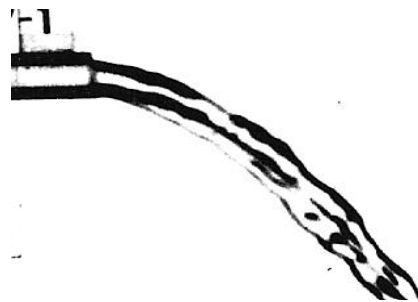
2.2.5. Aliran Laminar dan Turbulent

Aliran *laminar* adalah suatu aliran fluida yang sifat alirannya cenderung stabil. Pada aliran *laminar*, partikel-partikel fluidanya bergerak disepanjang lintasan-lintasan lurus, sejajar dalam lapisan-lapisan atau laminae. Besarnya kecepatan-kecepatan dari laminae yang berdekatan tidak sama. Aliran laminar diatur oleh hukum yang menghubungkan tegangan geser ke laju perubahan bentuk sudut yaitu hasil kali kekentalan fluida dan gradient kecepatan. Kekentalan fluida tersebut dominan dan karenanya mencegah setiap kecenderungan menuju kondisi-kondisi turbulen (Giles, 1977).



Gambar 2.4. Aliran *Laminar* keluar melalui pipa (Olson, 1990).

Aliran *turbulen* adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan berfluktuasi yang saling interaksi. Akibat dari hal tersebut garis alir antar partikel fluidanya saling berpotongan. Tegangan geser (τ) yang timbul pada aliran *turbulent* relatif lebih besar dari pada tegangan geser yang terjadi pada aliran *laminar* sehingga kerugian aliran pun akan besar pula. Jika pada aliran *laminar* memiliki kerugian sebanding dengan V , maka pada aliran *turbulent* sebanding dengan $V^{(1,7 \text{ s/d } 2)}$.



Gambar 2.5. Aliran *turbulent* keluar melalui pipa (Olson, 1990).

Sifat pokok aliran, yaitu apakah laminar atau turbulen, serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecenderungan turbulen terhadap kecenderungan laminar ditunjukkan oleh bilangan *Reynolds* (Streeter, 1985). Bilangan *Reynolds* adalah rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos yang mengkuantifikasikan hubungan kedua gaya tersebut dengan suatu kondisi aliran tertentu. (Clifford, 1984)

Untuk mengetahui sebuah aliran bersifat *laminar* atau *turbulen* maka dapat dibedakan dengan menggunakan bilangan *Reynolds*, yaitu (Clifford, 1984) .

Nilai Re:

$Re < 2300$: Laminar

$2300 \leq Re \leq 4000$: Transisi

$Re > 4000$: Turbulen

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \dots\dots\dots (2.7)$$

- dengan, - v : Kecepatan aliran (m/s)
 - ρ : Massa jenis (kg/m^3)
 - μ : Viskositas dinamik ($kg/m.s$)
 - Re : Bilangan *Reynolds*
 - d : Diameter dalam pipa (m)

Batasan aliran di atas adalah untuk aliran *external* misalnya aliran air sungai atau air laut. Batasan bilangan *Reynolds* untuk aliran *internal* melalui pipa seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Batasan bilangan *Reynolds* (Re_d) (Kurniawan, 2012).

2.2.6. Tegangan Permukaan

Molekul-molekul zat cair saling tarik-menarik di antara sesamanya dengan gaya berbanding lurus dengan massa. Dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat-pusat massa. Gaya tarik-menarik tersebut adalah setimbang. Tetapi pada permukaan zat cair dan udara, atau antara zat satu dengan zat lainnya, gaya tarik ke atas dan kebawah tidak setimbang. Ketidakseimbangan tersebut menyebabkan terjadinya lapisan tipis pada permukaan zat cair yang mempunyai kemampuan untuk menahan tegangan tarik. Sifat zat cair tersebut dikenal dengan tegangan permukaan. Tegangan permukaan σ (sigma) bekerja pada bidang permukaan yang

sama besar disemua titik. Gaya tarik yang bekerja pada permukaan akan berusaha meminimumkan luas permukaan. Oleh karena itu tetesan zat cair akan berusaha untuk berbentuk bulat agar luas permukaannya minimum (Triatmodjo, 1991).

2.2.7. Kapilaritas

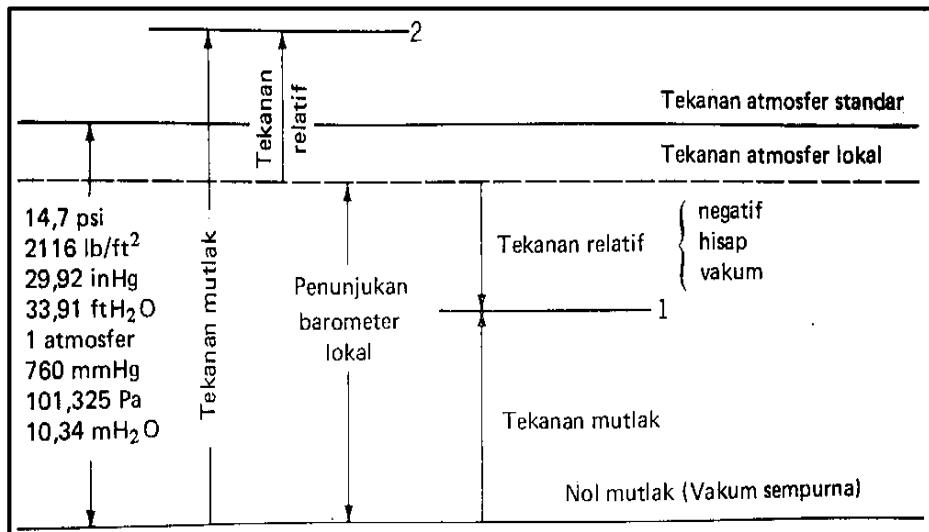
Kapilaritas disebabkan oleh gaya kohesi dan adesi. Kohesi adalah gaya tarik menarik antar molekul yang sama jenisnya. Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lain tidak dapat menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Sedangkan adhesi adalah gaya tarik menarik antar molekul yang berbeda jenisnya. Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lain dapat menempel dengan baik karena molekulnya saling tarik menarik atau melekat. Di dalam suatu tabung yang dimasukkan ke dalam zat cair, jika kohesi lebih kecil dari adesi maka zat cair akan naik, jika kohesi lebih besar dari adesi maka zat cair akan turun (Triatmodjo, 1991).

2.2.8. Tekanan Atmosfer, Relatif dan Mutlak

Telah diketahui bahwa udara di atmosfer ini mempunyai berat. Karenanya udara tersebut dapat menimbulkan tekanan pada permukaan bumi, rapat massa tidak konstan sehingga membuat ketergantungan pada ketinggian, suhu dan kelembaban.

Tekanan relatif atau tekanan terukur adalah tekanan yang diukur berdasarkan tekanan atmosfer. Tekanan ini bisa lebih besar atau lebih kecil dari tekanan atmosfer lokal. Fluida yang berhubungan dengan udara luar (atmosfer) bertekanan nol, sehingga dapat diartikan tekanan relatif positif apabila lebih besar dari tekanan atmosfer dan negatif jika lebih kecil dari tekanan atmosfer.

Tekanan mutlak merupakan jumlah tekanan atmosfer dengan tekanan relatif. Apabila tekanan relatif negatif, maka tekanan mutlak adalah tekanan atmosfer dikurangi tekanan relative (Triatmodjo, 1991).



Gambar 2.7. Satuan dan Skala tekanan (Streeter, 1985).

Standard atmospheric pressure adalah tekanan rata-rata pada permukaan air laut. Pada titik 1, memiliki tekanan absolute sebesar (Streeter, 1985).

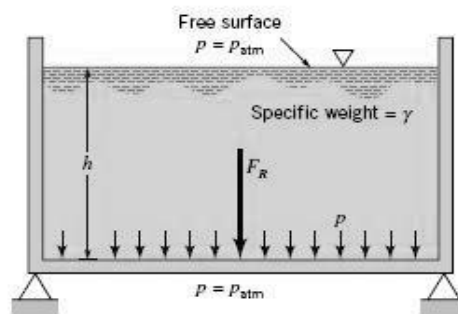
$$P_{abs} = P_{atm} - P_{vakum} \dots\dots\dots (2.8)$$

Sedangkan pada titik 2:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge} \dots\dots\dots (2.9)$$

2.2.8.1. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik adalah suatu tekanan yang terjadi di bawah air. Tekanan tersebut terjadi karena adanya berat air itu sendiri yang membuat air tersebut mengeluarkan tekanan tertentu dan bergantung pada kedalaman air (*h*) di dalam sebuah ruang dan gravitasi (*g*).



Gambar 2.8. Tekanan dan gaya hidrostatik resultan yang timbul pada permukaan dasar sebuah tangki terbuka (Munson, 2003).

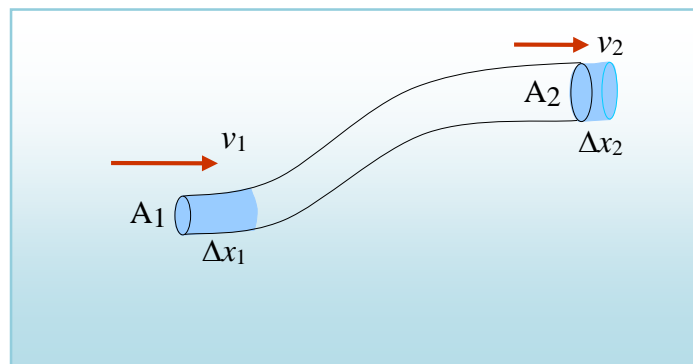
Hubungan berat air terhadap ruangan dan gravitasi ini dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots(2.10)$$

dengan, - P : Tekanan hidrostatik (N/m^2)
 - ρ : Massa jenis cairan (kg/m^3)
 - g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
 - h : Kedalaman cairan (m)

2.2.9. Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah persamaan yang menghubungkan kecepatan fluida dalam dari satu tempat ke tempat lain .aliran fluida internal tak mampu mampat (incompressible) adalah aliran di dalam suatu garis aliran yang penampangnya berupa kurva tertutup dan massa jenis fluida sepanjang medan aliran adalah tetap (tidak berubah). Aliran laminar setimbang pada suatu fluida melalui tabung tertutup atau pipa pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Aliran fluida *internal* (Raymond, 2000).

Pada interval waktu sebesar Δt , laju aliran massa fluida yang berada di ujung bawah bergerak sejauh $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$. Massa fluida yang berada di ujung bawah adalah (Streeter, 1985) :

$$\dot{m} = \rho_1 \times v_1$$

$$\dot{m} = \rho_1 \times A_1 \times \frac{\Delta x_1}{\Delta t}$$

$$m_1 = \rho_1 A_1 \Delta x_1 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t \dots\dots\dots (2.11)$$

Sedangkan besar laju aliran massa fluida yang berada di ujung atas adalah:

$$m_2 = \rho_2 A_2 \Delta x_2 = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t \dots\dots\dots (2.12)$$

Karena *incompressible* dan *steady*, maka persamaan (2.12) disubsitusikan ke persamaan (2.13), sehingga menjadi :

$$\begin{aligned} \frac{m}{t} &= \dot{m} \\ \dot{m}_1 &= \dot{m}_2 \\ \rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 &= \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2 \dots\dots\dots (2.13) \end{aligned}$$

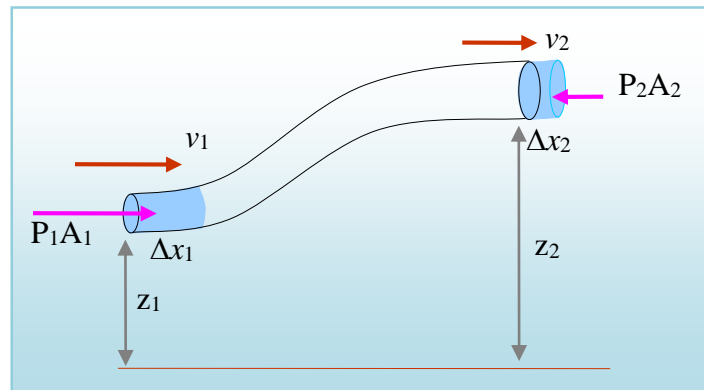
Persamaan (2.14) disebut dengan persamaan kontiunitas. Dalam bentuk lain persamaan kontiunitas ini dapat ditulis :

$$\begin{aligned} A_1 \cdot v_1 &= A_2 \cdot v_2 = Q \\ D_1^2 \cdot v_1 &= D_2^2 \cdot v_2 \dots\dots\dots (2.14) \end{aligned}$$

- dengan, - Q : Debit (m^3/s)
 - v : Kecepatan aliran (m/s)
 - A : Luas penampang (m^2)
 - \dot{m} : Laju aliran massa (kg/s)

2.2.10. Persamaan *Bernoulli*

Prinsip *Bernoulli* menyatakan bahwa bilamana kecepatan fluida tinggi, tekanannya rendah, dan bilamana kecepatannya rendah, tekanannya tinggi. Bernoulli mengembangkan persamaan yang menekankan prinsip ini secara kuantitatif. Untuk menurunkan persamaan Bernoulli, dapat diasumsikan bahwa aliran setimbang dan laminar, fluida tak dapat mampat, dan kekentalan cukup kecil untuk dapat diabaikan (Olson, 1990).



Gambar 2.10. Prinsip *Bernoulli* (Olson, 1990).

Dengan meninjau gambar (2.10) di atas, pada bagian luas penampang A_1 , usaha yang dilakukan oleh P_1 sejauh Δx_1 adalah (Olson, 1990).

$$\Delta W_1 = P_1 A_1 \Delta x_1 = P_1 \Delta V_1 \dots\dots\dots(2.15)$$

Selanjutnya, pada bagian luas penampang A_2 , usaha yang dilakukan P_2 sejauh Δx_2 , adalah (Olson, 1990)

$$\Delta W_2 = P_2 A_2 \Delta x_2 = P_2 \Delta V_2 \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan, - P : Tekanan (Pa)

- A : Luas penampang (m^2)

- Δx : Perubahan panjang kolom fluida (m)

- ΔV : Perubahan volume fluida (m^3)

- ΔW : Perubahan kerja (joule)

$$P_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \dots\dots\dots (2.17)$$

atau,

$$P + \rho g z + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{tetap}$$

dengan, - v : Kecepatan fluida (m/s)

- g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

- z : Ketinggian relatif (m)

- P : Tekanan fluida (Pa)

Persamaan (2.19) di atas, disebut dengan persamaan *Bernoulli* yang digunakan untuk perhitungan aliran fluida ideal atau tanpa gesekan dan tak mampu mampat (*incompressible*). Jika persamaan (2.18) dikalikan dengan volume jenis

(*Specific Volume*) dari suatu fluida atau zat, maka persamaan *Bernoulli* akan menjadi:

$$v = \frac{1}{\rho} \Rightarrow \text{Volume jenis (Specific Volume)}$$

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{1}{2}v_1^2 = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{1}{2}v_2^2 \dots\dots\dots (2.18)$$

Selanjutnya, persamaan (2.18) kembali dikalikan dengan percepatan gravitasi ($1/g$), maka bentuk persamaan *Bernoulli* menjadi:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2.19)$$

atau,

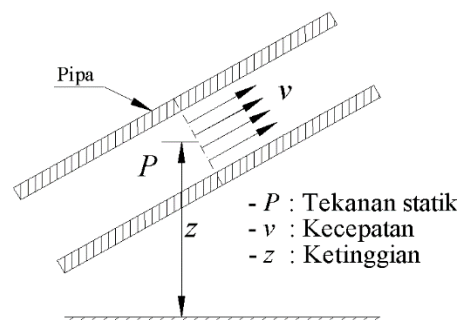
$$H_1 = H_2 \dots\dots\dots (2.20)$$

dengan, - γ : Berat jenis zat cair persatuan volume ($kg/m.s$)

- H_1 : *Head* total 1 (m)

- H_2 : *Head* total 2 (m)

Persaman *Bernoulli* di atas juga disebut dengan persamaan *Head*. Pada tiap-tiap suku pada persamaan (2.20) yaitu P/γ , $v^2/2g$, dan z berturut-turut disebut dengan *head tekanan*, *head kecepatan*, dan *head potensial*. *Head* adalah energi mekanik yang dikandung oleh satu satuan berat ($1kgf$) zat cair yang mengalir pada sebuah luasan penampang. Satuan energi persatuan berat adalah ekivalen dengan satuan panjang atau tinggi. Maka, *head* total (H) yang merupakan penjumlahan dari ketiga suku tersebut adalah energi mekanik total persatuan berat zat cair, dan dinyatakan dengan satuan tinggi kolom zat cair dalam meter (Sularso, 2006).



Gambar 2.11. Aliran melalui pipa (Sularso, 2006).

2.2.11. Perhitungan Head Loss

Perubahan tekanan aliran air terjadi karena adanya perubahan ketinggian (z), perubahan kecepatan (v) akibat perubahan penampang (A_p), dan gesekan air terhadap dinding pipa atau penampang selubung (A_s). Perubahan tekanan aliran air di sepanjang pipa akibat gesekan terhadap dinding pipa dapat dianalisa melalui persamaan Bernoulli yang dimodifikasi yaitu: (Clifford, 1984).

$$H_1 = H_2 + h_L$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \dots\dots\dots (2.21)$$

Persamaan (2.21) merupakan persamaan *Bernoulli* yang dimodifikasi karena adanya gesekan fluida terhadap dinding pipa. Gesekan akan menimbulkan penurunan tekanan atau kehilangan energi di sepanjang aliran. Berdasarkan lokasi timbulnya kehilangan, secara umum kehilangan tekanan akibat gesekan atau kerugian ini digolongkan menjadi 2 macam kerugian aliran yaitu kerugian *mayor* dan kerugian *minor*.

Kerugian *mayor* adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada pipa lurus. Disebut "*mayor*" karena pipa lurus sebagai komponen utamanya. Sedangkan kerugian *minor* adalah kehilangan tekanan yang terjadi di selain pipa lurus misalnya kerugian pada katup-katup, sambungan *T*, sambungan *L*, dan sebagainya. Disebut "*minor*" karena katup-katup, sambungan *T*, sambungan *L* merupakan komponen dari pipa pendukung. Dua kerugian aliran fluida akibat gesekan di sepanjang komponen aliran ini disebut dengan *head loss*.

2.2.11.1 Perhitungan Head Loss Mayor

Pada aliran *laminar* nilai koefisien gesek hanya sebagai fungsi bilangan *Reynolds* saja, karena aliran *laminar* tidak dipengaruhi oleh faktor kekasaran permukaan pipa. Namun dengan semakin tingginya bilangan *Reynolds*, maka koefisien gesekan (f) hanya sebagai fungsi dari kekasaran relatif permukaan pipa.

Penurunan tekanan (P) pada aliran *turbulen* merupakan fungsi dari bilangan *Reynolds* (Re_d), perbandingan panjang dan diameter pipa (L/D), serta kekasaran

relatif pipa (ε/D). *Head loss mayor* dihitung dari persamaan *Darcy-Weisbach*, yaitu (Clifford, 1984).

$$h_{LMY} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.22)$$

- Dengan: - h_{LMY} : *Head loss mayor* (m)
 - f : Koefisien gesek
 - L : Panjang pipa (m)
 - g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
 - D : Diameter dalam pipa (m)

Koefisien gesek pipa (f) dapat diketahui melalui diagram *Moody*. Perhitungan *head loss* adalah perhitungan yang cukup panjang, sehingga dalam sistem perpipaan dibutuhkan persamaan matematika untuk menentukan koefisien gesek (f) sebagai fungsi dari bilangan *Reynolds* dan kekasaran relative (Robert, 2003).

Selain dari diagram *Moody*, koefisien gesek (f) pada pipa juga dapat dicari melalui persamaan *Blasius*. Persamaan *Blasius* ini hanya berlaku pada aliran *turbulent* pada kondisi pipa halus (*smooth pipe*) dengan bilangan *Reynolds* ($Re_d < 10^5$), sehingga faktor kekasaran relatif adalah (Clifford, 1984).

$$f = \frac{0,3164}{Re_d^{0,25}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Perhitungan besarnya angka kekasaran relatif (f) pada aliran laminar dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini (Clifford, 1984).

$$f = \frac{64}{Re} \dots\dots\dots (2.24)$$

2.2.11.2 Perhitungan Head Loss Minor

Head loss minor merupakan kerugian-kerugian aliran kecil pada sistem pipa yang dapat dihitung secara umum melalui persamaan (Clifford, 1984).

$$h_L = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

- Dengan: - h_L : *Head loss minor* (m)
 - K : Koefisien tahanan *head loss minor*
 - g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

Pada aliran yang melewati belokan dan katup koefisien tahanan (K) merupakan fungsi dari *ratio* panjang ekuivalen komponen pipa, diameter komponen pipa (L_e/D), dan kekasaran relatif pipa (f). Besarnya kehilangan energi (*head loss minor*) yang terjadi pada komponen belokan dan katup dapat dihitung dengan rumusan seperti pada *head loss mayor* yaitu (Clifford, 1984).

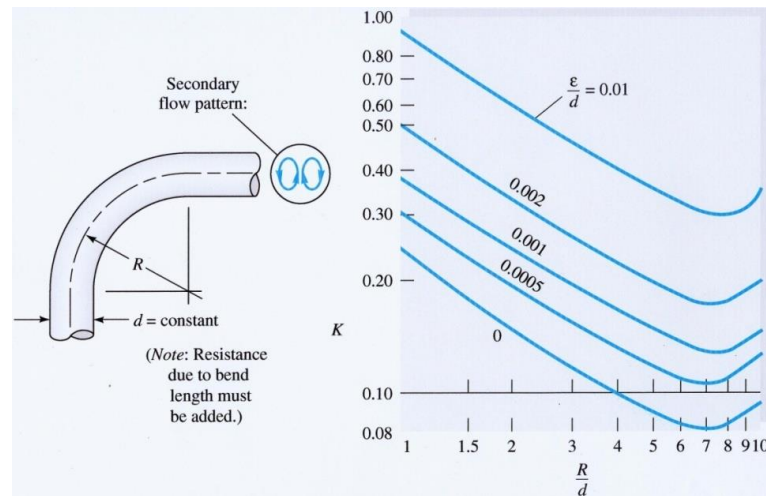
$$h_L = f \cdot \frac{L_e}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

karena,

$$f \frac{L_e}{D} = K \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

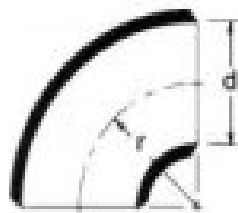
- Dengan: - L_e : Panjang ekuivalen dari komponen (m)
 - D : Diameter komponen katup dan pipa (m)
 - h_L : *Head loss minor* (m)
 - K : Koefisien tahanan
 - f : Kekasaran relatif dari diagram *Moody*

Aliran fluida yang melewati belokan atau *elbow* menimbulkan *head loss* yang lebih besar dari pada aliran yang mengalami pengecilan maupun mengalami pembesaran secara mendadak. Pada aliran fluida yang melewati belokan, harga koefisien tahanan dipengaruhi oleh *radius* kelengkungan atau kurva belokan pipa. Semakin kecil *radius* kelengkungan belokan maka semakin besar koefisien tahanan belokan. Koefisien tahanan dapat diketahui pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Koefisien tahanan (K) pada belokan pipa (*bends* 90°) (Munson , 2003).

Untuk sambungan yang kelengkungannya halus, koefisien tahanan akan lebih kecil namun pembuatannya lebih sulit sehingga harganya akan lebih mahal. Pada belokan yang kelengkungannya dibentuk dari penyambungan pipa lurus yang disebut dengan *bends*, koefisien tahanan akan lebih tinggi namun proses pembuatan yang lebih muda dan harganya jauh lebih murah.



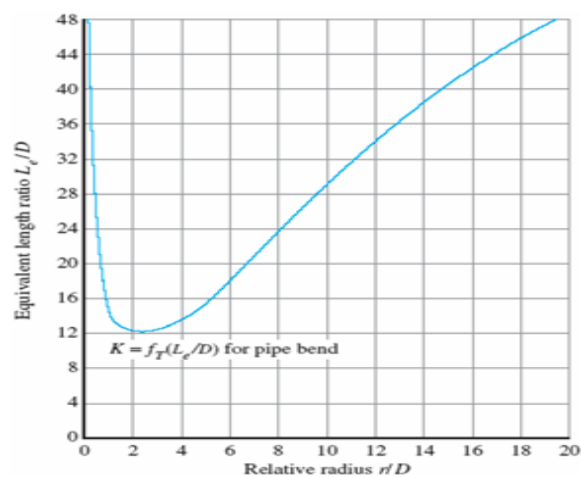
r/d	K	r/d	K
1	$20 f_f$	10	$30 f_f$
2	$12 f_f$	12	$34 f_f$
3	$12 f_f$	14	$38 f_f$
4	$14 f_f$	16	$42 f_f$
6	$17 f_f$	18	$46 f_f$
8	$24 f_f$	20	$50 f_f$

Gambar 2.13. Koefisien tahanan pada *bends* 90° (Clifford, 1984).

Tabel 2.1. Koefisien kerugian belokan pipa (Sularso, 1987).

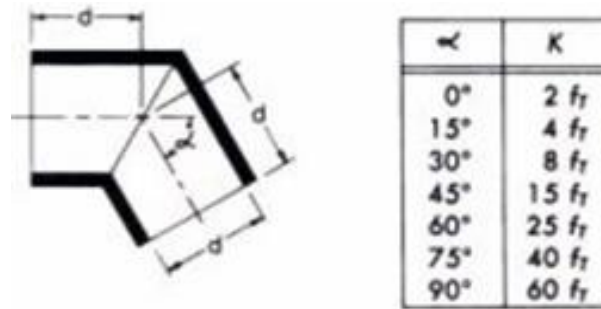
Sudut (θ°)		5	10	15	22,5	30	45	60	90
f	Halus	0,016	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129
	Kasar	0,024	0,44	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265

Belokan pipa yang kelengkungannya dibentuk dari penyambungan pipa lurus disebut dengan *bends*. Koefisien tahanan pada *bends* akan lebih tinggi namun proses pembuatannya lebih mudah sehingga harganya murah. *Ratio* (L_e/D) untuk belokan pipa 90° dapat dicari pada Gambar 2.14.



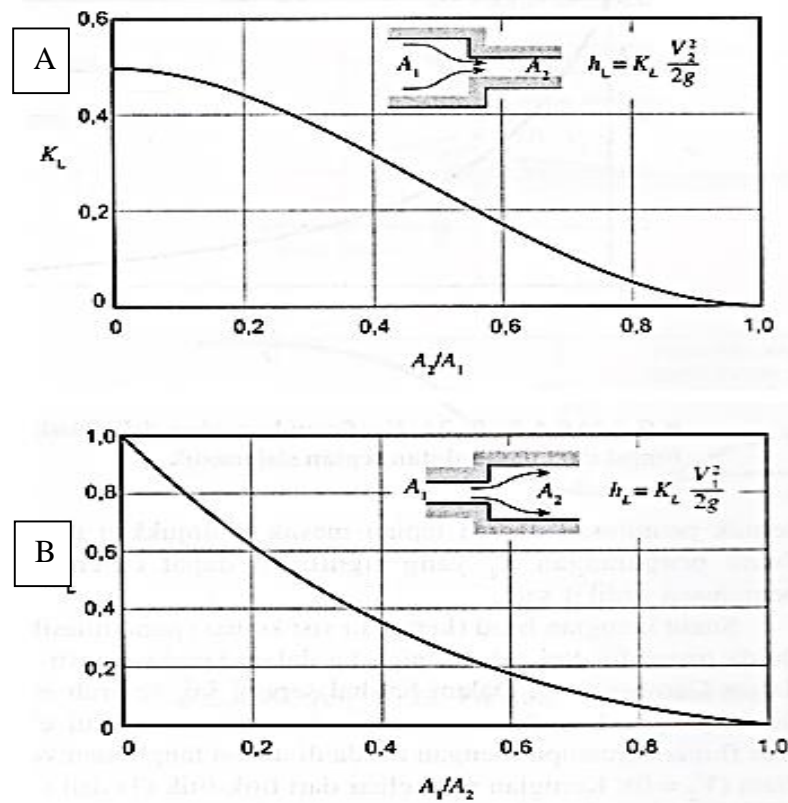
Gambar 2.14. Perbandingan antara panjang *ekuivalen* terhadap diameter dalam pipa (L_e/D) pada belokan pipa 90° (White, 1998).

Aliran yang melewati belokan patah (*mitre bends*) koefisien tahanan *minor* (K) merupakan fungsi dari sudut belokan.



Gambar 2.15. Koefisien tahanan (K) pada belokan patah (*mitre bends*) (Clifford, 1984).

Pada aliran yang melewati sebuah pipa mengalami pembesaran dan pengecilan penampang secara mendadak koefisien tahanan (K) merupakan *ratio* perbandingan antara diameter pipa kecil dengan diameter pipa besar.



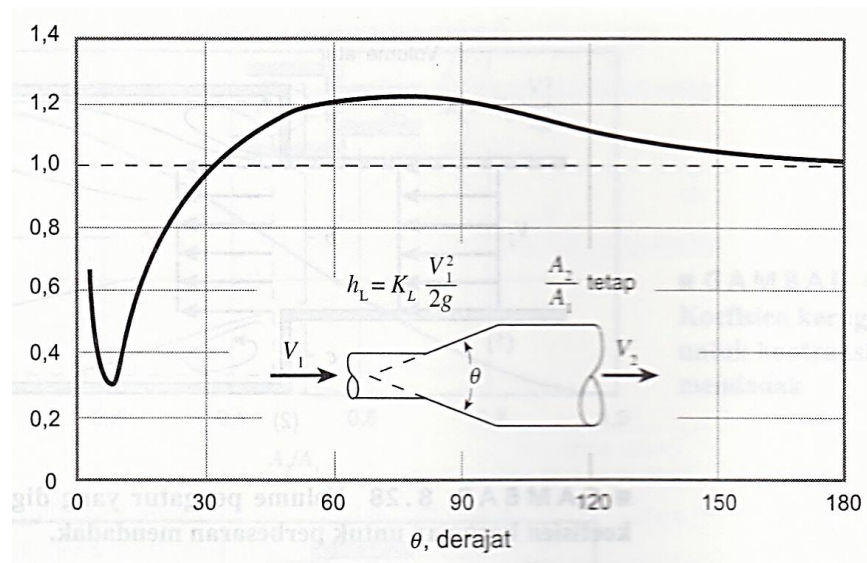
Gambar 2.16. Grafik koefisien tahanan pada pengecilan (A) dan pembesaran penampang secara mendadak.(B) (Munson, 2003).

Pada aliran yang mengalami pembesaran penampang secara mendadak (*sudden expansion*), penurunan tekanan (*minor losses*) dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$h_{LM} = K \cdot \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \dots\dots\dots (2.28)$$

- dengan, - K : Faktor tahanan *head loss minor* pada *sudden expansion*
 - v_1 : Kecepatan aliran pada pipa kecil (*m/s*)
 - v_2 : Kecepatan aliran pada pipa besar (*m/s*)

Penurunan tekanan (P) akibat pengecilan penampang secara mendadak (*sudden contraction*) atau secara *gradual contraction*, perhitungan rugi *minor* (*head loss minor*) mengacu pada persamaan (2.28) di atas. Untuk perubahan penampang secara *gradual contraction*, koefisien tahanan (K) dapat dicari pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Koefisien kerugian pada *gradual contraction* (Munson, 2003).

Koefisien tahanan (K) untuk *sudden expansion* juga dapat diketahui melalui analisis seperti pada persamaan (2.29) (Munson, 2003).

$$K = \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \right]^2 = \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \dots\dots\dots (2.29)$$

- Dengan, - K : Faktor tahan *head loss minor*
 - A_1 : Penampang pipa kecil (m^2)
 - A_2 : Penampang pipa besar (m^2)
 - D_1 : Diameter pipa kecil (m)
 - D_2 : Diameter pipa besar (m)

Jika aliran air melewati sebuah pipa mengalami pengecilan penampang secara mendadak maka disebut dengan istilah *sudden contraction*. Dengan persamaan kontinuitas (Munson, 2003).

$$V_0 \cdot C_c \cdot A_2 = V_2 \cdot A_2$$

Dimana C_c sebagai koefisien penyempitan atau kontraksi yaitu luas jet di penampang 0 dibagi luas penampang di titik 2. (Munson, 2003)

$$h_c = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right) \times \frac{V_2^2}{(2 \times g)} \dots\dots\dots (2.30)$$

Untuk lubang masuk pipa dari reservoir (Munson, 2003)

$$h_c = K \times \frac{V_2^2}{(2 \times g)} \dots\dots\dots (2.31)$$

2.2.10. Head Total Pompa (H_{Pump})

Head total pompa merupakan jumlah dari *head* secara keseluruhan yang dibutuhkan untuk:

- Mengatasi kerugian aliran akibat gesekan-gesekan (*head loss*).
- Membangkitkan tekanan (P) yang tinggi pada sisi masuk, sehingga dapat mengalirkan fluida dengan debit (Q) sesuai yang direncanakan.
- Mengatasi beda elevasi Δz .

Head total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi pompa. *Head* total pompa dapat ditulis sebagai berikut (Clifford, 1984)

$$H_{Pump} = \frac{\Delta P}{\gamma} + h_L + \Delta z + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} \dots\dots\dots (2.32)$$

- dengan,
- H_{Pump} : Head total pompa (m)
 - Δz : Perbedaan ketinggian antar titik isap dan titik keluar (m)
 - ΔP : Perbedaan tekanan statik (m)
 - γ : Berat jenis air per satuan volume (N/m^3)
 - h_L : Kerugian aliran total dimana [$h_L = h_{LMY} + h_{LM}$]
 - v_2 : Kecepatan di titik isap (m/s)
 - v_1 : Kecepatan di titik keluar (m/s)